

SKRIPSI

**PENGARUH JUMLAH DAUN PADA PERFORMA TURBIN
ANGIN SKALA KECIL**

Disusun dan diajukan oleh:

**AUDRYE KEZYA NATHANIA RAMPO
D091191015**



**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**PENGARUH JUMLAH DAUN PADA PERFORMA TURBIN ANGIN
SKALA KECIL**

Disusun dan diajukan oleh

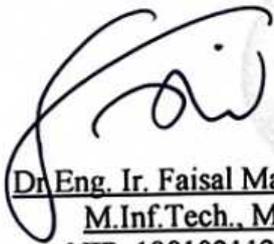
AUDRYE KEZYA NATHANIA RAMPO
D091191015

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 26 Juni 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Ir. Faisal Mahmuddin, S.T.,
M.Inf.Tech., M.Eng.IP M.
NIP. 198102112005011003



Ir. Hj. Syerly Klara, M.T.
NIP. 196405011990022001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Ir. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng.IP M.
NIP. 198102112005011003



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Audrye Kezya Nathania Rampo

NIM : D091191015

Departement : Teknik Sistem Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

PENGARUH JUMLAH DAUN PADA PERFORMA TURBIN ANGIN SKALA KECIL

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 27 Juni 2024

Yang membuat pernyataan,



Audrye Kezya Nathania Rampo



ABSTRAK

AUDRYE KEZYA NATHANIA RAMPO *PENGARUH JUMLAH DAUN PADA PERFORMA TURBIN ANGIN SKALA KECIL.* (Dibimbing oleh Dr.Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng. dan Ir. Syerly Klara, M.T.)

Di beberapa wilayah Indonesia, energi angin telah dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dengan bantuan turbin angin yang besar energinya tergantung dengan kecepatan angin. Pada dasarnya, turbin angin memiliki daun, jumlah daun pada turbin angin dapat mempengaruhi performa turbin secara keseluruhan. Pada penelitian ini, akan menggunakan turbin angin sumbu horizontal sebagai objek penelitian dengan tujuan untuk mengetahui jumlah daun yang optimal untuk mencapai performa terbaik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yakni eksperimen dan simulasi menggunakan perangkat lunak ANSYS 2022 R2 turbin angin sumbu horizontal dengan variasi jumlah daun yaitu tiga, empat dan lima daun dan dilakukan simulasi dengan berbagai kecepatan angin. Hasil penelitian ini adalah semakin banyak jumlah daun turbin cenderung akan menghasilkan daya yang besar, Hal ini dibuktikan dengan hasil penelitian, dimana daya tertinggi dihasilkan oleh turbin angin sumbu horizontal 5 daun di kecepatan 6 m/s sebesar 47,61 Watt. Sedangkan semakin banyak jumlah daun turbin maka efisiensi turbin semakin tinggi, tetapi semakin tinggi kecepatan anginnya maka efisiensi yang dihasilkan semakin rendah. Hal ini dibuktikan dengan hasil penelitian ini, dimana turbin angin dengan 5 daun dapat menghasilkan efisiensi tertinggi di kecepatan 3 m/s sebesar 38,00%, sedangkan pada kecepatan 6 m/s menghasilkan efisiensi sebesar 34,80%. Berdasarkan hasil simulasi desain menunjukkan bahwa adanya pengaruh variasi jumlah daun terhadap performa yang dihasilkan.

Kata Kunci : turbin angin sumbu horizontal skala kecil, jumlah daun, performa daya



ABSTRACT

AUDRYE KEZYA NATHANIA RAMPO. *EFFECT OF NUMBER OF BLADES ON SMALL-SCALE WIND TURBINE PERFORMANCE.* (Supervised by Dr.Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng. and Ir. Syerly Klara, M.T.)

In several regions of Indonesia, wind energy has been used as a power plant with the help of wind turbines whose energy depends on wind speed. Basically, wind turbines have blades, the number of blades in a wind turbine can affect the overall turbine performance. This research, a horizontal axis wind turbine will be used as a research object with the aim of knowing the optimal number of blades to achieve the best performance. The methods used in this research are experiments and simulations using ANSYS 2022 R2 software on a horizontal axis wind turbine with variations in the number of blades, specifically three, four, and five blades, and simulations conducted at various wind speeds. The results of this research indicate that an increase in the number of turbine blades tends to result in higher power output. This is evidenced by the research findings, where the highest power output was produced by a horizontal-axis wind turbine with five blades at a speed of 6 m/s, yielding 47,61 Watts. Furthermore, as the number of turbine blades increases, the turbine efficiency also tends to increase, but as wind speed increases, the efficiency decreases. This is demonstrated by the research results, where a wind turbine with five blades achieved the highest efficiency at a speed of 3 m/s, at 38,00%, while at a speed of 6 m/s, the efficiency was 34,80%. Based on the results of design simulations, it shows that there is an effect of variations in the amount of time on the performance produced.

Keywords : *small scale horizontal axis wind turbine, number of blades, power performance*



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Energi Angin.....	4
2.2 Sistem Konversi Energi Angin (SKEA).....	4
2.3 Daya Turbin Angin.....	5
2.4 Potensi Energi Angin Indonesia.....	7
2.5 Turbin Angin.....	9
2.6 Sudu (<i>Blade</i>).....	11
2.7 <i>Software Solidworks</i>	12
2.8 <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	16
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Lokasi Penelitian.....	18
3.2 <i>Software</i>	18
3.3 Tahapan Penelitian.....	18
3.4 Kerangka Penelitian.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Gambaran Umum.....	29
4.2 Simulasi Menggunakan <i>Computational Fluid Dynamic</i>	29
4.3 Analisis Hasil Simulasi Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	36
4.4 Validasi Hasil Simulasi.....	38
4.5 Hasil Validasi.....	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN.....	55



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 HAWT <i>swept area</i>	5
Gambar 2 Peta kecepatan angin di Indonesia tahun 2020.....	8
Gambar 3 Macam-macam turbin angin sumbu horizontal.....	9
Gambar 4 Macam-macam turbin angin sumbu vertikal.....	10
Gambar 5 Bagian penampang <i>airfoil</i>	11
Gambar 6 Tampilan layar awal Solidworks 2018.....	13
Gambar 7 Perintah <i>sketch</i>	13
Gambar 8 Logo ANSYS CFX.....	16
Gambar 9 Turbin angin sumbu horizontal	19
Gambar 10 <i>Airfoil</i> NACA0004	20
Gambar 11 Lokasi kecepatan angin rata-rata yang digunakan	20
Gambar 12 Dimensi ukuran turbin angin sumbu horizontal skala kecil yang digunakan	22
Gambar 13 Variasi rancangan model turbin angin horizontal	22
Gambar 14 Kipas angin.....	23
Gambar 15 Anemometer	23
Gambar 16 Tachometer.....	24
Gambar 17 Kerangka penelitian.....	28
Gambar 18 Tahapan simulasi <i>ANSYS CFX R2 2022</i>	30
Gambar 19 Hasil <i>Import Geometry</i> model turbin angin sumbu horizontal tiga daun	30
Gambar 20 Hasil <i>meshing</i> model turbin angin sumbu horizontal tiga daun.....	31
Gambar 21 Hasil <i>solver</i> turbin angin sumbu horizontal tiga daun dengan kecepatan 3 m/s	34
Gambar 22 Kontur kecepatan aliran fluida pada turbin angin sumbu horizontal 3 daun di kecepatan 3 m/s	35
Gambar 23 Kontur kecepatan aliran fluida pada turbin angin sumbu horizontal 4 daun di kecepatan 3 m/s	35
Gambar 24 Kontur kecepatan aliran fluida pada turbin angin sumbu horizontal 5 daun di kecepatan 3 m/s	36
Gambar 25 Model <i>airfoil</i> NACA0004 dan NACA16015 pada perangkat lunak <i>Qblade v0.96.3</i>	39
Gambar 26 Model <i>blade</i> turbin angin sumbu horizontal	39
Gambar 27 Variasi jumlah <i>blade</i> turbin angin sumbu horizontal	40
Gambar 28 Hasil NLLS pada turbin angin tiga daun di kecepatan 3 m/s.....	40
Gambar 29 Grafik perbandingan daya yang dihasilkan turbin angin sumbu horizontal 3 daun dari simulasi <i>ANSYS 2022 R2</i> dengan simulasi <i>Qblade v.96.3</i>	43
Gambar 30 Grafik perbandingan daya yang dihasilkan turbin angin sumbu horizontal 4 daun dari simulasi <i>ANSYS 2022 R2</i> dengan simulasi <i>Qblade v.96.3</i>	44
Gambar 31 Grafik perbandingan daya yang dihasilkan turbin angin sumbu horizontal 5 daun dari simulasi <i>ANSYS 2022 R2</i> dengan simulasi <i>Qblade v.96.3</i>	45



Gambar 32 Grafik daya pada masing-masing variasi jumlah daun turbin angin sumbu horizontal	46
Gambar 33 Grafik perbandingan efisiensi turbin angin sumbu horizontal 3 daun pada simulasi ANSYS 2022 R2 dengan simulasi Qblade v.96.3.....	47
Gambar 34 Grafik perbandingan efisiensi turbin angin sumbu horizontal 4 daun pada simulasi ANSYS 2022 R2 dengan simulasi Qblade v.96.3.....	48
Gambar 35 Grafik perbandingan efisiensi turbin angin sumbu horizontal 5 daun pada simulasi ANSYS 2022 R2 dengan simulasi Qblade v.96.3.....	49
Gambar 36 Grafik efisiensi pada masing-masing variasi jumlah daun turbin angin sumbu horizontal	50



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Nilai TSR terhadap jumlah sudu turbin	7
Tabel 2 Perintah pokok pada menu <i>modify</i> Solidworks.....	14
Tabel 3 Perintah pokok pada menu <i>draw</i> Solidworks	14
Tabel 4 Perintah pokok pada menu <i>features</i> Solidworks.....	15
Tabel 5 Spesifikasi turbin angin sumbu horizontal.....	19
Tabel 6 Data kecepatan angin rata-rata selama setahun.....	21
Tabel 7 Spesifikasi desain turbin angin sumbu horizontal.....	22
Tabel 8 Kecepatan putaran turbin dari hasil pengujian.....	25
Tabel 9 Informasi <i>mesh</i> turbin angin sumbu horizontal tiga daun.....	31
Tabel 10 Pengaturan <i>global initialization</i> turbin angin sumbu horizontal.....	33
Tabel 11 Hasil simulasi turbin angin sumbu horizontal pada <i>ANSYS 2022 R2</i>	34
Tabel 12 Daya turbin angin sumbu horizontal.....	38
Tabel 13 Hasil simulasi turbin angin sumbu horizontal pada <i>Qblade v0.96.3</i>	41
Tabel 14 Daya dan efisiensi turbin angin sumbu horizontal.....	42



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
ρ	Massa jenis udara (kg/m^3)
A	Luas area sapuan turbin angin (m^2)
r	Jari-jari rotor turbin (m)
v	Kecepatan angin (m/s)
T	Torsi (Nm)
ω	Kecepatan sudut (rad/s)
n	Kecepatan rotasi rotor(rpm)
$\eta_{overall}$	Efisiensi total
P_{maks}	Daya angin maksimum (Watt)
P_{turbin}	Daya turbin (Watt)
P_{sisa}	Daya sisa turbin (Watt)
P_{total}	Daya total (Watt)
η_{turbin}	Efisiensi turbin
η_{sisa}	Efisiensi sisa turbin
η_{total}	Efisiensi total
SKEA	Sistem Konversi Energi Angin
VAWT	<i>Vertical Axis Wind Turbine</i>
HAWT	<i>Horizontal Axis Wind Turbine</i>
ESDM	Energi dan Sumber Daya Mineral
P3TKEBTKE	Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi
BEM	<i>Blade Element Momentum</i>
TSR	<i>Tip Speed Ratio</i>
C_p	<i>Coefficient Performance</i>
	<i>Nonlinear Lifting Line Simulations</i>
	<i>National Advisory Committee for Aeronautics</i>



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Airfoil</i> koordinat NACA0004	56
Lampiran 2 Geometri model turbin angin sumbu horizontal 3 daun	58
Lampiran 3 Geometri model turbin angin sumbu horizontal 4 daun	58
Lampiran 4 Geometri model turbin angin sumbu horizontal 5 daun	59
Lampiran 5 Hasil <i>meshing</i> model turbin angin sumbu horizontal 4 daun	59
Lampiran 6 Hasil <i>meshing</i> model turbin angin sumbu horizontal 5 daun	60
Lampiran 7 Grafik hasil simulasi model turbin angin sumbu horizontal 3 daun pada kecepatan 4 m/s	60
Lampiran 8 Grafik hasil simulasi model turbin angin sumbu horizontal 3 daun pada kecepatan 5 m/s	61
Lampiran 9 Grafik hasil simulasi model turbin angin sumbu horizontal 3 daun pada kecepatan 6 m/s	61
Lampiran 10 Grafik hasil simulasi model turbin angin sumbu horizontal 4 daun pada kecepatan 3 m/s	62
Lampiran 11 Grafik hasil simulasi model turbin angin sumbu horizontal 4 daun pada kecepatan 4 m/s	62
Lampiran 12 Grafik hasil simulasi model turbin angin sumbu horizontal 4 daun pada kecepatan 5 m/s	63
Lampiran 13 Grafik hasil simulasi model turbin angin sumbu horizontal 4 daun pada kecepatan 6 m/s	63
Lampiran 14 Grafik hasil simulasi model turbin angin sumbu horizontal 5 daun pada kecepatan 3 m/s	64
Lampiran 15 Grafik hasil simulasi model turbin angin sumbu horizontal 5 daun pada kecepatan 4 m/s	64
Lampiran 16 Grafik hasil simulasi model turbin angin sumbu horizontal 5 daun pada kecepatan 5 m/s	65
Lampiran 17 Grafik hasil simulasi model turbin angin sumbu horizontal 5 daun pada kecepatan 6 m/s	65
Lampiran 18 Kontur kecepatan aliran fluida pada turbin angin sumbu horizontal 3 daun di kecepatan 4 m/s	66
Lampiran 19 Kontur kecepatan aliran fluida pada turbin angin sumbu horizontal 3 daun di kecepatan 5 m/s	66
Lampiran 20 Kontur kecepatan aliran fluida pada turbin angin sumbu horizontal 3 daun di kecepatan 6 m/s	67
Lampiran 21 Kontur kecepatan aliran fluida pada turbin angin sumbu horizontal 4 daun di kecepatan 4 m/s	67
Lampiran 22 Kontur kecepatan aliran fluida pada turbin angin sumbu horizontal 4 daun di kecepatan 5 m/s	68
Lampiran 23 Kontur kecepatan aliran fluida pada turbin angin sumbu horizontal 4 daun di kecepatan 6 m/s	68
Lampiran 24 Kontur kecepatan aliran fluida pada turbin angin sumbu horizontal 5 daun di kecepatan 4 m/s	69



Lampiran 25 Kontur kecepatan aliran fluida pada turbin angin sumbu horizontal 5 daun di kecepatan 5 m/s.....	69
Lampiran 26 Kontur kecepatan aliran fluida pada turbin angin sumbu horizontal 5 daun di kecepatan 6 m/s.....	70
Lampiran 27 Hasil simulasi menggunakan <i>Qblade</i> v.096.3 pada turbin angin 3 daun di kecepatan 4 m/s.....	70
Lampiran 28 Hasil simulasi menggunakan <i>Qblade</i> v.096.3 pada turbin angin 3 daun di kecepatan 5 m/s.....	71
Lampiran 29 Hasil simulasi menggunakan <i>Qblade</i> v.096.3 pada turbin angin 3 daun di kecepatan 6 m/s.....	71
Lampiran 30 Hasil simulasi menggunakan <i>Qblade</i> v.096.3 pada turbin angin 4 daun di kecepatan 3 m/s.....	72
Lampiran 31 Hasil simulasi menggunakan <i>Qblade</i> v.096.3 pada turbin angin 4 daun di kecepatan 4 m/s.....	72
Lampiran 32 Hasil simulasi menggunakan <i>Qblade</i> v.096.3 pada turbin angin 4 daun di kecepatan 5 m/s.....	73
Lampiran 33 Hasil simulasi menggunakan <i>Qblade</i> v.096.3 pada turbin angin 4 daun di kecepatan 6 m/s.....	73
Lampiran 34 Hasil simulasi menggunakan <i>Qblade</i> v.096.3 pada turbin angin 5 daun di kecepatan 3 m/s.....	74
Lampiran 35 Hasil simulasi menggunakan <i>Qblade</i> v.096.3 pada turbin angin 5 daun di kecepatan 4 m/s.....	74
Lampiran 36 Hasil simulasi menggunakan <i>Qblade</i> v.096.3 pada turbin angin 5 daun di kecepatan 5 m/s.....	75
Lampiran 37 Hasil simulasi menggunakan <i>Qblade</i> v.096.3 pada turbin angin 5 daun di kecepatan 6 m/s.....	75
Lampiran 38 Dokumentasi hasil eksperimen turbin angin sumbu horizontal 3 daun (nilai kecepatan putaran turbin) pada kecepatan 3 m/s.....	76
Lampiran 39 Dokumentasi hasil eksperimen turbin angin sumbu horizontal 3 daun (nilai kecepatan putaran turbin) pada kecepatan 3 m/s.....	76
Lampiran 40 Dokumentasi hasil eksperimen turbin angin sumbu horizontal 3 daun (nilai kecepatan putaran turbin) pada kecepatan 3 m/s.....	77
Lampiran 41 Dokumentasi hasil eksperimen turbin angin sumbu horizontal 3 daun (nilai kecepatan putaran turbin) pada kecepatan 3 m/s.....	77



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan anugerah-Nya yang melimpah sehingga skripsi yang berjudul **“PENGARUH JUMLAH DAUN PADA PERFORMA TURBIN ANGIN SKALA KECIL”** dapat tercapai dan terselesaikan sesuai dan seturut dengan kehendak-Nya. Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Strata 1 (S1) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa berbagai kesulitan dan rintangan dalam penyusunan skripsi ini tidak dapat dilewati tanpa adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Tritunggal Maha Kudus yang telah menuntun, menyertai dan memberikan hikmat serta memberikan kesehatan, kesabaran dan semangat selama proses perkuliahan dan penulisan skripsi ini.
2. Adryal Feri Rambo dan Sarce Salinding, selaku orang tua penulis. Terima kasih atas doa, kasih sayang, dukungan batin, materi dan bantuan tak ternilai lainnya yang telah Bapak dan Mama berikan selama ini kepada penulis hingga bisa mencapai titik ini.
3. Bapak Dr.Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng. selaku pembimbing 1 dan Ibu Ir. Hj. Syerly Klara, M.T. selaku pembimbing 2 yang telah meluangkan banyak waktu untuk membimbing dan memberikan arahan terkait skripsi ini.
4. Bapak Surya Hariyanto, S.T., M.T. dan Ibu Balqis Shintarahayu, S.T., M.Sc. selaku penguji yang telah meluangkan waktu dan memberikan evaluasi hingga memberikan saran dan masukan terkait penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu dan pembelajaran kepada penulis selama masa perkuliahan.



6. Staf tata usaha Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Bryant Willyams Grimaldy Rampo dan Kleynt Trevyana Renata Rampo selaku saudara kandung penulis yang senantiasa selalu memberikan canda, tawa, dukungan dan motivasi kepada penulis hingga saat ini.
8. Pojan yang telah menemani penulis selama proses penulisan skripsi ini. Terima kasih telah menjadi tempat berkeluh kesah dan penghibur penulis selama menjalani masa perkuliahan hingga proses penulisan skripsi.
9. Teman-teman KORTNOZZLE 2019, yang telah membuat hari-hari penulis dalam menjalani perkuliahan di Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin lebih indah dan menyenangkan. Terima kasih telah menjadi penghibur, pendengar yang baik dan selalu memberikan dukungan moral dan bantuan untuk penulis selama menjalani sulitnya masa perkuliahan.
10. Teman-teman CONVERSION, yang telah membantu penulis dalam pertumbuhan iman selama perkuliahan.
11. Seluruh pihak yang tidak penulis sebutkan satu persatu secara detail yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada saya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
12. Terakhir, terima kasih kepada diri saya sendiri karena tidak menyerah dan tetap berjuang dalam keadaan apapun. Terima kasih sudah berusaha keras sekuat tenaga dan tetap sabar dalam menghadapi banyaknya rintangan dan cobaan. Terima kasih sudah tetap kuat dan tetap bertahan hingga saat ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, oleh karena itu penulis memohon maaf dan senantiasa menerima kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat penulis harapkan. Sebagai penutup, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi pembaca yang tertarik pada ilmu energi terbarukan.



Gowa, 25 Juni 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki banyak sumber daya alam, termasuk angin, matahari dan air, yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dengan cara yang berbeda. Energi terbarukan harus digunakan sebaik mungkin. Masyarakat saat ini sangat bergantung pada listrik PLN yang dihasilkan dari bahan bakar fosil seperti batu bara, gas dan minyak. Selain untuk memenuhi kebutuhan penerangan, masyarakat bergantung pada listrik untuk berbagai kegiatan ekonomi dan sosial (Ramadhan, 2021).

Di beberapa wilayah Indonesia, energi angin telah dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Besarnya listrik yang dihasilkan tergantung dengan kecepatan angin, kecepatan angin dapat dipengaruhi oleh hambatan seperti bangunan tinggi dan pepohonan. Wilayah pesisir memiliki potensi angin yang tinggi sehingga dapat diubah menjadi energi listrik dengan bantuan turbin angin. Terdapat dua jenis turbin angin yaitu *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) dan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT). HAWT merupakan jenis turbin angin yang banyak digunakan karena memiliki keunggulan dalam hal efisiensi yang lebih tinggi, itu disebabkan oleh sudu turbin selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin. Pada penelitian ini, akan menggunakan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) sebagai objek penelitian.

Pada dasarnya, turbin angin memiliki daun atau bilah yang berfungsi untuk menangkap energi kinetik angin dan mengubahnya menjadi energi mekanik yang dapat digunakan. Jumlah daun pada turbin angin dapat mempengaruhi performa turbin secara keseluruhan. Oleh karena itu, perancangan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) yang efektif harus memperhitungkan jumlah bilah yang optimal. Maka, penelitian ini bermaksud untuk menganalisis pengaruh jumlah daun pada performa *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) skala kecil.

Adapun penelitian ini bermaksud melakukan analisis pengaruh jumlah daun pada performa *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) skala kecil dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Dengan mengubah jumlah daun, dapat dibandingkan performa turbin angin skala kecil dengan



menggunakan berbagai konfigurasi daun. Dengan demikian, hasil analisis ini diharapkan dapat menghasilkan informasi jumlah daun yang optimal untuk mencapai performa yang terbaik. Berdasarkan permasalahan tersebut peneliti melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Jumlah Daun pada Performa Turbin Angin Skala Kecil”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka diambil rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh variasi jumlah daun terhadap daya yang dihasilkan dalam berbagai kondisi kecepatan angin pada turbin angin sumbu horizontal skala kecil?
2. Bagaimana variasi jumlah daun pada turbin angin sumbu horizontal skala kecil mempengaruhi efisiensi konversi energi angin menjadi energi mekanis?

1.3 Tujuan Penelitian

Dalam penelitian yang diusulkan memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh variasi jumlah daun terhadap daya yang dihasilkan dalam berbagai kondisi kecepatan angin pada turbin angin sumbu horizontal skala kecil.
2. Mengetahui pengaruh variasi jumlah daun terhadap efisiensi konversi energi angin menjadi energi mekanis pada turbin angin sumbu horizontal skala kecil.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana jumlah daun pada turbin skala kecil dapat mempengaruhi performa secara keseluruhan.
2. Dapat menghasilkan informasi yang berguna dalam pengembangan dan terapan teknologi turbin angin yang lebih efisien dan berkelanjutan. Dapat menjadi literatur bagi peneliti lain yang akan memilih topik dengan sudut pandang yang berbeda.



1.5 Ruang Lingkup

Agar pembahasan masalah dalam penelitian ini lebih terarah pada tercapainya tujuan penelitian, maka peneliti memberikan batasan masalah adalah sebagai berikut :

1. Jenis turbin angin skala kecil yang digunakan yaitu *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) yang berfokus pada performa pada tiap variasi daun turbinnya.
2. Analisa turbin angin skala kecil ini hanya berfokus pada daya dan efisiensi konversi energi angin menjadi energi mekanis turbin angin yang merupakan parameter performa turbin.
3. Analisa hanya memperhitungkan performa turbin angin skala kecil dengan variasi daun turbin yaitu tiga, empat dan lima daun tanpa memperhitungkan faktor lain yang dapat mempengaruhi performa turbin angin, seperti jenis bahan baling-baling.
4. Kecepatan angin yang digunakan yaitu data kecepatan angin rata-rata yang ada di Pulau Timor, Kecamatan Alak, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur, Indonesia.
5. ANSYS sebagai perangkat lunak untuk menganalisis turbin angin dengan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD).



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak karena ketidaksamaan tekanan di permukaan bumi. Angin dapat mengalir dari zona tekanan tinggi ke zona tekanan rendah. Gerakan angin pada permukaan bumi ini disebabkan oleh variasi dalam penerimaan radiasi matahari, sehingga menghasilkan variasi suhu udara. Perbedaan suhu ini menyebabkan perbedaan tekanan dan akhirnya menghasilkan gerakan udara. Perubahan suhu antara siang dan malam menjadi faktor utama dalam pembentukan angin harian. Daerah yang lebih banyak terpapar oleh sinar matahari, akan memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan daerah lainnya (Habibie et al., 2011).

Energi angin adalah salah satu jenis sumber energi listrik yang dapat dimanfaatkan secara gratis. Kelebihan dari energi angin sebagai sumber energi listrik yaitu tersedia banyak dan tidak terbatas jumlahnya. Beberapa wilayah yang memiliki potensi angin yang melimpah antara lain daerah pegunungan dan pantai. Energi angin dapat diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin. Oleh karena itu, turbin angin sering disebut sebagai Sistem Konversi Energi Angin (SKEA).

2.2 Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)

Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) adalah suatu sistem yang bertujuan untuk mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik poros turbin dan diubah lagi oleh generator menjadi energi listrik (Latif, 2013). Beberapa karakteristik angin lokal yang menjadi dasar kajian Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) adalah :

a. Angin Darat-Laut

Indonesia terdiri dari banyak kepulauan dan luas lautan lebih besar daripada daratan. Angin darat-laut terjadi karena perbedaan daya serap panas antara daratan dan lautan. Perbedaan karakteristik laut dan darat ini menyebabkan angin di pantai terus-menerus bertiup, sehingga sesuai dengan SKEA.



b. Angin Orografi

Angin orografi adalah angin yang diakibatkan oleh perbedaan tekanan antara daerah dataran tinggi dan daerah dataran rendah (angin gunung dan angin lembah). Pada siang hari, angin bertiup dari lembah ke arah gunung, sementara pada malam hari terjadi sebaliknya.

c. Kecepatan Angin terhadap Kekasaran Permukaan dan Ketinggian

Tekstur permukaan mempengaruhi seberapa lambat kecepatan angin di dekatnya. Di daerah dengan tekstur kasar yang tinggi, seperti hutan atau kota, kecepatan angin di dekat permukaan cenderung lebih lambat, sementara di daerah dengan tekstur yang rendah, seperti daerah datar atau lapangan terbuka, kecepatan angin cenderung lebih tinggi.

2.3 Daya Turbin Angin

Daya angin disebabkan oleh energi kinetik aliran angin dengan kecepatan (v), massa jenis (ρ) yang melalui sebuah penampang (A), maka daya yang dihasilkan dapat dilihat pada persamaan (1) (Ismail & Arrahman, 2017).

$$P_{maks} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (1)$$

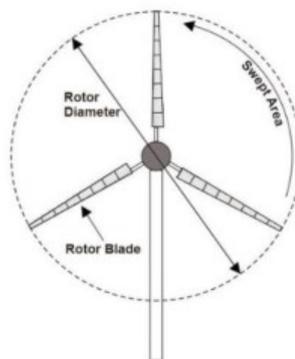
dimana :

P_{maks} = Daya angin maksimum (Watt)

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

A = Swept area (m^2)

v = Kecepatan angin (m/s)



Gambar 1 HAWT *swept area*



Swept area mengacu pada area dari lingkaran bilah ketika bergerak melewati udara. Persamaan (2) adalah luasan *swept area* dari HAWT sesuai ilustrasi pada Gambar 1 (Khairunnisa et al., 2022).

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (2)$$

dimana :

$$r = \text{jari-jari rotor (m)}$$

Turbin angin dapat menghasilkan daya yang berasal dari putaran rotor pada turbin. Daya turbin tersebut dapat dihitung dengan persamaan (3) (Simanjuntak et al., 2020).

$$P_{turbin} = T \cdot \omega \quad (3)$$

dimana :

$$P_{turbin} = \text{Daya turbin (Watt)}$$

$$T = \text{Torsi (Nm)}$$

$$\omega = \text{Kecepatan sudut (rad/s)}$$

Kecepatan sudut adalah besaran vektor yang menyatakan frekuensi sudut suatu benda dan sumbu putarnya. Untuk menghasilkan daya optimum, dapat dihitung dengan persamaan kecepatan sudut optimum dengan persamaan (4) (Dimas et al., 2022).

$$\omega = \frac{n \cdot 2\pi}{60} \quad (4)$$

dimana:

$$\omega = \text{Kecepatan sudut (rad/s)}$$

$$n = \text{Kecepatan rotasi rotor (RPM)}$$

Kecepatan rotasi rotor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5) (Cao, 2011)

$$n = \frac{60 \cdot \lambda \cdot V_0}{2\pi \cdot r} \quad (5)$$

dimana:

$$\lambda = \text{Tip Speed Ratio}$$

$$V_0 = \text{Kecepatan awal (m/s)}$$



berdasarkan persamaan tersebut juga dapat dijelaskan bahwa terdapat λ yang berbanding terbalik antara kecepatan putar rotor dengan jarak sudu. Untuk λ yang sama, sudu dengan jarak yang besar memiliki n putar yang rendah seperti tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Nilai TSR terhadap jumlah sudu turbin

Tip speed ratio	Jumlah sudu
1	8-24
2	6-12
3	3-6
4	3-4
>4	1-3

Sumber: Manwell et al., (2009)

Efisiensi turbin akan bernilai maksimum jika $v_2/v_1 = 1/3$, ini disebut dengan *Betz's limit*, dimana nilai efisiensi tidak akan melebihi nilai ideal yaitu 59,3%. Oleh karena itu, untuk mendapatkan nilai efisiensi konversi energi angin menjadi energi mekanik dapat digunakan persamaan (6) (J. F. Manwell, 2009).

$$\eta = \frac{P_T}{\frac{1}{2} \rho v_1^3 A} \times 100\% \quad (6)$$

$$\eta = \frac{P_{turbin}}{P_{maks}} \times 100\% \quad (7)$$

dimana:

η = efisiensi konversi energi angin menjadi energi mekanik

P_{turbin} = Daya turbin (Watt)

P_{maks} = Daya angin maksimum (Watt)

2.4 Potensi Energi Angin Indonesia

Badan Litbang ESDM telah mengembangkan metode perhitungan potensi energi angin dengan tujuan mempercepat penggunaan sumber daya angin. Pada tahun 2016, P3TKEBTKE membuat peta potensi energi angin Indonesia dengan resolusi 5 km. Pada tahun 2020, peta tersebut diperbaharui dengan memperpanjang periode inputan model dan menghitung potensi energi angin *onshore* dan *offshore* di Indonesia. Untuk menggambarkan potensi energi angin Indonesia, hasil



tersebut ditampilkan dalam peta distribusi kecepatan angin *onshore* dan peta distribusi kecepatan angin per musim, peta distribusi rapat daya angin (*Power Density/WPD*), dan peta distribusi produksi energi tahunan (*Annual*

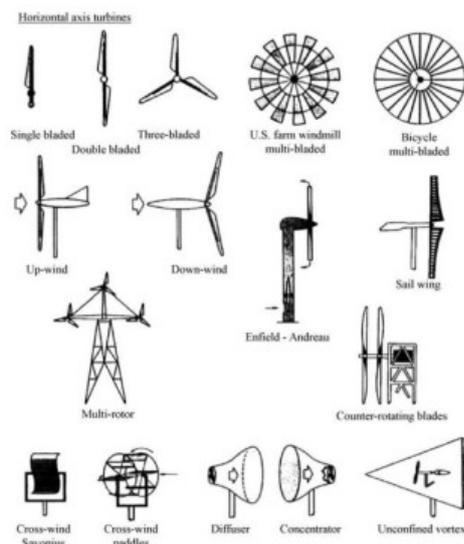
2.5 Turbin Angin

Turbin angin (*wind turbine*) adalah kincir angin yang berfungsi untuk menggerakkan generator listrik dan menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja turbin angin didasarkan pada konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui, yaitu angin. Dalam menangkap energi angin, turbin angin dilengkapi dengan dua atau tiga bilah sudu yang dirancang menyerupai sayap pesawat terbang. Bilah sudu tersebut berperan penting seperti sayap pesawat udara. Turbin angin terdiri dari dua jenis, yaitu Turbin Angin Sumbu Vertikal dan Turbin Angin Sumbu Horizontal (Sitorus et al., 2015).

1. Turbin Angin Sumbu Horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine*)

Turbin angin sumbu horizontal adalah turbin yang menghasilkan energi listrik dengan cara poros utamanya berputar mengikuti arah angin. Agar rotor berputar dengan lancar, arah angin harus sejajar dengan poros turbin dan tegak lurus terhadap arah putaran rotor. Biasanya turbin ini memiliki bilah seperti bentuk sayap pada pesawat. Semakin banyak bilah, semakin cepat putaran turbin.

Setiap desain rotor memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Kelebihannya adalah efisiensinya tinggi dan kecepatan angin minimum yang dibutuhkan rendah. Namun, kekurangannya adalah desain rotor yang lebih rumit karena hanya bisa menangkap angin dari satu arah sehingga perlu pengarah angin.



Gambar 3 Macam-macam turbin angin sumbu horizontal

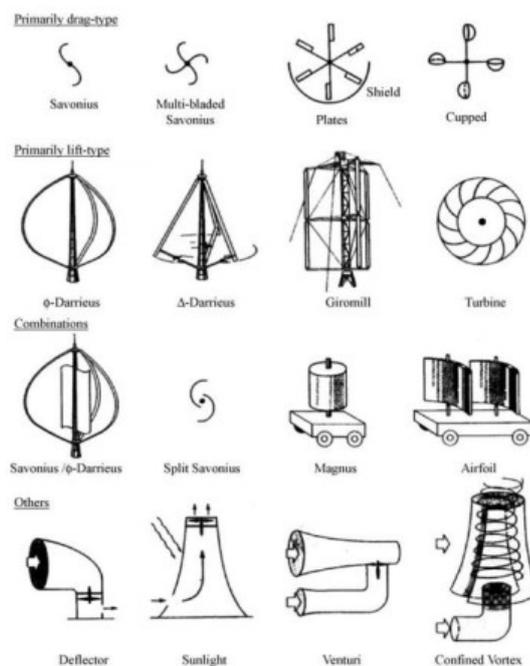
Sumber (Manwell et al., 2009)



2. Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*)

Turbin angin sumbu vertikal adalah turbin angin dengan poros dan rotor sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar pada segala arah angin. VAWT memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya adalah memiliki torsi tinggi yang memungkinkan rotornya berputar pada kecepatan angin rendah, generator dapat ditempatkan di bawah turbin, sehingga perawatannya lebih mudah dan kerjanya tidak dipengaruhi oleh arah angin. Namun, kekurangannya adalah kecepatan angin di bagian bawah turbin sangat rendah sehingga tanpa tower akan menghasilkan putaran yang rendah dan efisiensinya lebih rendah daripada HAWT.

Terdapat tiga model rotor pada turbin angin ini, yaitu Savonius, Darrieus dan H rotor. Turbin savonius memanfaatkan gaya *drag* sedangkan darrieus dan H rotor memanfaatkan gaya *lift*. Turbin Savonius ditemukan pada tahun 1922 oleh Sigurd J. Savonius, seorang sarjana Finlandia. Konstruksi turbin sangat sederhana, terdiri dari dua sudu setengah silinder. Salah satu model VAWT dengan desain terbaik yang menggunakan kombinasi *drag* dan *lift* untuk menghasilkan tenaga adalah model Lenz2, yang memiliki torsi startup yang sangat baik dan efisiensi.



Gambar 4 Macam-macam turbin angin sumbu vertikal

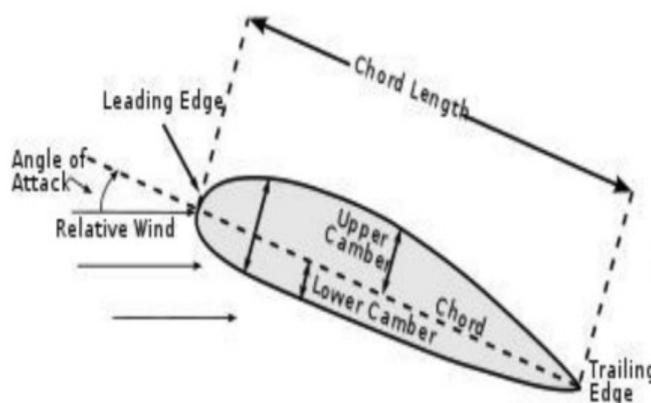
Sumber (Manwell et al., 2009)



2.6 Sudu (*Blade*)

Sudu adalah sebuah penampang yang menangkap aliran udara untuk menghasilkan gaya angkat dan gaya dorong pada waktu tertentu yang kemudian dimanfaatkan oleh turbin angin. Gaya dorong yang dihasilkan oleh sudu ini, digunakan untuk menciptakan torsi. Besar atau kecilnya gaya angkat yang terbentuk akan berubah-ubah tergantung pada desain dan kondisi operasi dari sudu. Pada pesawat terbang, gaya angkat pada sayap utama berfungsi sebagai kekuatan yang menentang gravitasi sehingga memungkinkan pesawat untuk lepas landas dan tetap berada di udara, selain itu gaya angkat pada sayap-sayap pembeloknya dipakai untuk mengendalikan pesawat saat berada di udara dengan mengubah sudut serangnya sehingga gaya angkat yang dihasilkan bisa diatur untuk menghasilkan gerakan yang diinginkan; vertikal, horizontal, ataupun berputar terhadap sumbu aksial. Gaya dorong yang dihasilkan pada sudu-sudu turbin angin dimanfaatkan untuk menggerakkan generator listrik yang terhubung dengan poros turbin angin. Agar dapat memastikan kinerja dan keamanan generator listrik, kecepatan putaran dijaga dalam rentang tertentu.

Sudu dapat menghasilkan gaya dorong yang diperlukan untuk menjaga agar turbin angin tetap berputar. Untuk mencapai gaya dorong ini, sudu harus terus berputar. Bentuk sayap atau sudu dapat menghasilkan tenaga dorong ketika terkena aliran udara tertentu (*airfoil*). Rotor turbin angin terdiri dari satu atau lebih sudu yang terpasang pada poros turbin (pusat dari sudu).



Gambar 5 Bagian penampang *airfoil*

Sumber (Dharma & Masherni, 2017)



Gaya dorong adalah gaya yang dialami oleh suatu benda yang bergerak searah dengan aliran udara, sedangkan gaya angkat adalah gaya yang dialami oleh benda tersebut yang tegak lurus terhadap arah aliran udara. Sudut yang dibentuk oleh benda terhadap arah aliran udara yang diukur terhadap suatu garis referensi pada benda disebut sebagai *angle of attack* (α). Garis referensi pada penampang *airfoil* yang sering disebut dengan *chord line*. *Airfoil* sendiri adalah penampang benda yang dirancang untuk meminimalkan gaya dorong. Bentuknya bilat di bagian depan (*leading edge*) dan lancip di bagian belakang (*trailing edge*) seperti yang dapat dilihat pada gambar 5.

Setiap permukaan *airfoil* yang dilewati oleh udara memiliki dua gaya yang bekerja yakni, gaya hambat dan gaya angkat. Gaya hambat diukur sejajar dengan aliran udara yang mengenai sayap, dan umumnya diminimalkan dalam perancangan turbin. Gaya angkat diukur tegak lurus terhadap aliran udara yang mengenai kincir.

Besarnya gaya dorong dan gaya angkat ditentukan oleh sudut serang (α). Dalam perancangan *airfoil*, rasio koefisien gaya dorong dan koefisien gaya angkat menjadi faktor penting yang harus diminimalkan agar efek aerodinamika dapat dicapai seefisien mungkin (Ramadhan, 2022).

2.7 Software Solidworks

Solidworks merupakan perangkat lunak CAD (*Computer Aided Design*) yang dibuat oleh Dassault Systems. *Software Solidworks* digunakan untuk merancang *part* permesinan atau susunan *part* permesinan dalam bentuk perakitan dengan tampilan 3D untuk merepresentasikan bagian tersebut sebelum *part* yang sebenarnya dibuat atau tampilan 2D (*drawing*) untuk gambar proses pembuatan mesin. Solidworks pertama kali diperkenalkan pada tahun 1995 sebagai pesaing untuk program CAD seperti Pro-Engineer, NX Siemens, I-Deas, Unigraphics, Autodesk Inventor, Autodeks Autocad, dan Catia. Saat ini, banyak industri manufaktur yang telah menggunakan perangkat lunak Solidworks (Ramadhan, 2022).



At ini, Solidworks telah diterapkan oleh 3/4 juta insinyur dan desainer di i 80.000 perusahaan di seluruh dunia. Dahulu, Autocad lebih dikenal di t untuk perancangan gambar teknik, tetapi sekarang Solidworks telah

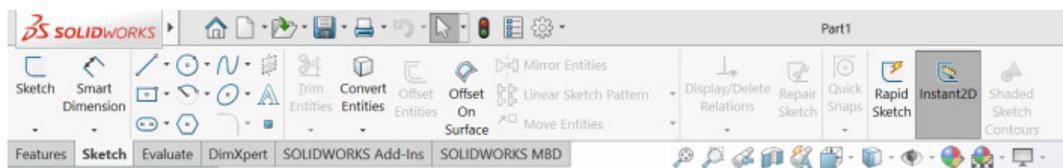
menggantikan Autocad dalam membuat bentuk 3D. Bagi industri pengecoran logam, Solidworks sangat membantu dalam membuat pola/model (*pattern*) karena memiliki program 3D yang memudahkan operator *pattern* menerjemahkan gambar menjadi *pattern* casting pengecoran logam. Hal ini tentunya akan mengurangi kesalahan pembacaan gambar yang dapat mengakibatkan kesalahan pada produk yang dihasilkan.



Gambar 6 Tampilan layar awal Solidworks 2018

2.7.1 Menggambar 2D dengan *Basic Sketch*

Pembuatan objek dasar pada Solidworks dimulai dengan pembuatan *sketch*. Pada bagian menu *sketch*, terdapat berbagai perintah dasar seperti *line*, *circle*, *arc*, *polygon* dan lain-lain. Perintah-perintah pada menu *sketch* dibagi menjadi dua kategori utama *command draw* dan *command modify*. Perintah (*command*) pada menu *sketch* ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7 Perintah *sketch*

1. *Command Modify*



Command modify digunakan untuk membuat objek dengan mengubah *sketch* yang sudah ada. Tabel 2 menunjukkan beberapa perintah pokok yang termasuk dalam *command modify*.

Tabel 2 Perintah pokok pada menu *modify* Solidworks

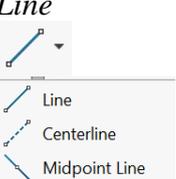
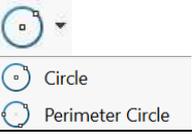
No	Toolbar	Command	Fungsi
1	 Mirror Entities	<i>Mirror Entities</i>	Membuat bentuk geometri yang dicerminkan dari bentuk yang dipilih dengan menentukan garis permesinan
2	 Offset Entities	<i>Offset Entities</i>	Membuat bentuk geometri yang sebangun dengan bentuk objek yang dipilih dengan menentukan jarak tertentu dari objek aslinya

Sumber (Ramadhan, 2022)

2. Command Draw

Command draw digunakan untuk membuat objek gambar pada *sketch*. Beberapa perintah pokok pada *menu draw* dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Perintah pokok pada menu *draw* Solidworks

No	Toolbar	Command	Fungsi
1	 Sketch  3D Sketch	<i>Sketch</i> <i>3D Sketch</i>	Membuat 2D <i>sketch</i> Membuat 3D <i>sketch</i>
2	 Smart Dimension	<i>Smart Dimension</i>	Memberikan ukuran dasar suatu <i>sketch</i>
3	 Line Centerline Midpoint Line	<i>Line</i> <i>Centerline</i> <i>Midpoint Line</i>	Membuat garis lurus Membuat garis tengah Membuat garis mulai dari titik center
4	 Circle Perimeter Circle	<i>Circle</i> <i>Perimeter Circle</i>	Membuat bentuk lingkaran Membuat lingkaran berdasarkan titik acuan



5		<i>Corner Rectangle</i>	Membuat segi empat
		<i>Center Rectangle</i>	Membuat segi empat berdasarkan titik pusat acuan
		<i>3 Point Corner Rectangle</i>	Membuat segi empat berdasarkan diagonal dengan 3 titik acuan
		<i>3 Point Center Rectangle</i>	Membuat segi empat berdasarkan pusat bangun dan 2 titik acuan
		<i>Parallelogram</i>	Membuat bangun jajar genjang berdasarkan 3 titik acuan

Sumber (Ramadhan, 2022)

2.7.2 Pembuatan Gambar Komponen 3D dengan *Part Modeling*

Part merupakan ruang gambar pemodelan 3D komponen suatu objek gambar. Dasar pembuatan *part* adalah gambar *sketch*. Setelah proses pembuatan *sketch* selesai, menu *sketch* secara otomatis akan beralih ke menu *features*. Beberapa command yang terdapat pada menu *features* dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Perintah pokok pada menu *features* Solidworks

No	<i>Toolbar</i>	<i>Command</i>	Fungsi
1		<i>Extrude Boss/Base</i>	Memberikan tinggi, tebal atau kedalaman dari sebuah profil tertutup dengan ukuran tertentu.
2		<i>Revolve Boss/Base</i>	Membuat bentuk silindris dengan cara memutar suatu bentuk profil terhadap sumbu yang ditentukan
3		<i>Swept Boss/Base</i>	Membuat objek yang terbentuk dari <i>sketch</i> atau profil melalui garis edar
4		<i>Loft Boss/Base</i>	Membuat objek dengan perpaduan beberapa bentuk atau potongan yang berbeda

Sumber (Ramadhan, 2022)



2.8 Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD singkatan dari *Computational Fluid Dynamics* merupakan suatu metode numerik yang biasa digunakan dalam bidang mekanika fluida. Metode ini muncul sekitar tahun 1970 dengan mengkombinasikan permasalahan fisik, perhitungan numerik dan ilmu komputer. Prinsip kerja dari CFD adalah melakukan diskritisasi untuk melakukan penyelesaian numerik dalam volume atur yang lebih kecil. Setiap volume atur tersebut diselesaikan secara iteratif dengan menyelesaikan persamaan pengaturnya yang meliputi hukum konservasi massa, momentum dan energi. Perhitungan secara diskrit tersebut dilakukan dengan bantuan perangkat keras maupun lunak komputer dengan harapan dapat menyelesaikan permasalahan sesuai dengan kondisi fisiknya (Fridayana, 2018).

Pada penelitian ini akan digunakan *software* ANSYS CFX 2022 yang merupakan modul khusus dari paket perangkat lunak ANSYS yang fokus pada simulasi aliran fluida (CFD atau *Computational Fluid Dynamics*). ANSYS CFX digunakan untuk melakukan simulasi numerik terkait aliran fluida, panas, dan transfer massa di dalam suatu domain tertentu.



Gambar 8 Logo ANSYS CFX

Secara umum proses penghitungan *Computational Fluid Dynamic* terdiri atas 3 bagian utama yaitu *Pre-processor*, *Solver*, *Post-processor* (Sanusi, 2017).

1. *Pre-processor*

Pre-processor adalah tahap dimana data diinput mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition*. Langkah-langkah dalam tahap ini adalah sebagai berikut :



Pendefinisian geometri yang dianalisa

Grid generation, yaitu pembagian daerah domain menjadi bagian-bagian lebih kecil yang tidak tumpang tindih

- c. Seleksi fenomena fisik yang perlu dimodelkan
- d. Pendefinisian properti fluida
- e. Pemilihan *boundary condition* (kondisi batas) pada kontrol volume atau sel yang berhimpit dengan batas domain
- f. Penyelesaian permasalahan

2. *Solver*

Pada tahap ini, dilakukan proses perhitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya, perhitungan dilakukan hingga hasil menuju *error* terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Secara umum metode *numeric solver* tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Prediksi variabel aliran yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana
- b. Diskretisasi dengan substitusi prediksi-prediksi tersebut menjadi persamaan-persamaan aliran utama yang berlaku dan kemudian melakukan manipulasi matematis
- c. Penyelesaian persamaan aljabar. Pada tahap ini input dari *boundary condition* sangat diperlukan guna menterjemahkan elemen - elemen beserta kondisinya agar dapat dimengerti oleh *software* sehingga perhitungan dapat dilaksanakan.

3. *Post-processor*

Tahap akhir merupakan tahap *post-processor* dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola-pola warna tertentu. Dalam modul *post-processor* nilai-nilai numerik ini diolah agar pengguna dapat dengan mudah membaca dan menganalisis hasil-hasil perhitungan CFD. Hasil ini dapat disajikan dalam bentuk grafis-grafis ataupun kontur-kontur distribusi parameter-parameter aliran fluida. *Post-processor* semakin berkembang dengan majunya *engineering workstation* yang mempunyai kemampuan grafik dan visualisasi cukup besar. Dalam simulasi, model-model yang digunakan didiskretisasi dengan metode formulasi dan diselesaikan dengan menggunakan bermacam-macam algoritma

Metode diskretisasi dan algoritma terbaik yang digunakan tergantung dari tipe dan tingkat kedetailan yang dibutuhkan.

